

## بهبود عملکرد موتور دیزل با کمک نانوذرات جامد به عنوان افزودنی به سوخت

عباس تقی پور<sup>۱\*</sup>

<sup>۱</sup> استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران

دریافت: تابستان ۹۸ پذیرش: پائیز ۹۸

### چکیده

موتورهای دیزل یکی از اصلی ترین مصرف‌کننده‌های سوخت فسیلی محسوب می‌شوند و از عوامل مهم تولید آلودگی‌های صوتی و زیستمحیطی به‌شمار می‌رند. دستیابی به سوخت‌های جایگزین و استفاده از افزودنی‌های مناسب جهت کاهش آلودگی هدفی است که اکثر پژوهشگران به دنبال آن می‌باشند. بیودیزل یکی از سوخت‌های زیستی است که تجدیدپذیر است و می‌تواند به عنوان سوخت جایگزین در موتورهای دیزل استفاده شود. نانوذرات جامد نیز به دلیل خواص فیزیکی و شیمیایی در مولکولهای ماده انرژی بالایی را ایجاد می‌کنند. در این پژوهش اثر سوخت بیودیزل و نانوذرهای اکسیدسریم در ترکیب با سوخت دیزل بر عملکرد و آلاینده‌های موتور دیزل تک‌سیلندر بررسی و با سوخت دیزل پایه مقایسه شد. در فاز اول آزمایش‌ها، به‌منظور پایداری ترکیب‌های سوخت آزمایش‌های متعددی انجام شد. نتایج نشان داد که استفاده از حمام آلتراسونیک می‌تواند مفید باشد. در فاز دوم، آزمایش‌های مربوطه بر روی موتور دیزل تک سیلندر چهارزمانه انجام شد. داده‌های موردنظر در سرعت‌های مختلف (۱۵۰۰، ۲۰۰۰ و ۲۴۰۰ rpm) برای مخلوط‌های مختلف سوخت شامل بیودیزل در ۳ سطح (B0, B5, B20) و ذرات نانو نیز در سطح ۱۵.۵ ppm به دست آمد. نتایج نشان داد حضور سوخت اکسیدن نانو ذرات، مکانسیم اشتعالی سوخت را بهبود بخشیده و حرارت به سوخت را افزایش داده و با تسريع سوختن، زمان تأخیر در اشتعال را کاهش می‌دهد. همچنین نانو ذرات، مکانسیم اشتعالی سوخت را بهبود بخشیده و سبب نفوذ بهتر جت سوخت به داخل هوای فشرده می‌گردد که باعث احتراق کامل‌تر و بهبود عملکرد موتور گردید.

\* عهده‌دار مکاتبات: taghipoor@iaud.ac.ir

**کلمات کلیدی:** اکسید سریم، موتور اشتعال تراکمی، سوخت‌های زیستی، پارامترهای عملکردی، آلاینده‌های موتور.

### ۱- مقدمه

نفتی جهان و افزایش تقاضای مصرف‌کنندگان، پیش‌بینی می‌شود این ذخایر در چند دهه‌ی آینده به اتمام برسند. کاهش روزافزون منابع فسیلی وجود آلاینده‌های زیست محیطی مرتبط با این سوخت‌ها، اهمیت و لزوم توجه به آن‌ها را پیش از پیش مشخص می‌نماید. مهم‌ترین خاصیت سوخت‌های گیاهی تجدیدپذیری و زیست دوستی آن‌ها می‌باشد که نگرانی ناشی از اتمام آن‌ها نیز وجود ندارد. هر کشوری با توجه به فراوانی محصول گیاهی در آن کشور می‌تواند اقدام به تولید سوخت از آن محصول نموده و بدین ترتیب بخشی از نیاز سوختی خود و یا کل آن را برطرف نماید. نانو تکنولوژی به معنی انجام مهندسی مواد در ابعاد اتمی-مولکولی و ساخت موادی با خواص کاملاً متفاوت در ربع‌عاد نانو است. خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی ماده تبدیل شده به ابعاد نانو نسبت به خواص آن در ابعاد ماکرویی کاملاً متفاوت است. نانو در مولکولهای ماده انرژی بالایی را ایجاد می‌کند. سوخت نانو بیودیزل سوختی است که از ترکیب مکمل‌های ذرات نانو با سوخت‌های بیودیزل به نسبت‌های مختلف و مناسب به دست می‌آید و قابلیت احتراق و استفاده در موتورهای دیزلی را دارد.<sup>[۱]</sup>.

اسکریبانو و همکارانش در سال ۲۰۰۸ طی پژوهش‌هایی دریافتند اضافه کردن سریم به سوخت دیزل باعث کاهش قابل توجه در مقدار، وزن، اندازه

افزایش هشدارهای ناشی از اثرات زیان‌بار آلودگی هوا باعث به وجود آمدن اجبار در اجرای قوانین مبارزه با آلودگی هوا گردیده است. این امر باعث تشویق بسیاری از محققان برای بررسی راههای ممکن در استفاده از سوخت‌های جایگزین به جای نفت و مشتقان آن شده است. در بین سوخت‌های تجدیدپذیر، سوخت‌های به دست آمده از زیست توده مواد کشاورزی مورد توجه بسیاری از دانشمندان قرار گرفته است. تجدیدپذیری، انتشار آلاینده‌های کمتر و مزایای اقتصادی در مقایسه با سوخت‌های فسیلی، از جمله فواید این سوخت‌ها به‌شمار می‌رود. از میان موادی که به این منظور مورد استفاده قرار می‌گیرند، انواع الکل، بیودیزل و اتر از توانایی بالایی در کاهش آلاینده‌های اگزوز برخوردار هستند. بیودیزل که از روغن‌های گیاهی یا چربی‌های حیوانی تولید می‌شوند، زیست دوست هستند و می‌توانند به صورت خالص یا مخلوط با سوخت-های فسیلی در سامانه‌های حمل و نقل، گرمایش منازل، ساختمان‌ها و کارخانجات و همچنین در فرآیندهای صنعتی به کار روند. موضوع استفاده از سوخت‌های جایگزین در انواع موتورها، همراه با پیشرفت فناوری مورد بحث بوده و به سرعت رو به گسترش است. با برداشت روز افزون از ذخایر

سوخت B20 به همراه ۳۰ mg/l آلومینا به اختلاط ترکیب در مرحله پیش احتراق کمک می‌کند که این موضوع سبب احتراق کامل می‌شود. برای سوخت B20 در مقایسه با سوخت دیزل آلاینده CO و HC کاهش NOx کمی افزایش یافت. کاربرد افروزنی نانوی آلومینا نه تنها سبب بهبود عملکرد مکانیکی موتور دیزل می‌شود، همچنین سبب کاهش میزان آلاینده‌های هیدروکربن‌های نسخته (UBHC) و CO در گازهای خروجی اگزوژ می‌شود. علت آن تأثیر نانو ذرات به عنوان یک کاتالیست در فرآیند احتراق است بهخصوص در مقایسه با ترکیب بیودیزل - دیزل [5]. ساتیا مورسی و همکاران در سال ۲۰۱۶ تأثیر نانو ذرات به عنوان ماده افروزنی را بر روی عملکرد و آلاینده‌های موتور دیزل با استفاده از ترکیب سوخت بیودیزل و دیزل بررسی کردند. ترکیب سوخت شامل ۲۰٪ بیودیزل و ۸۰٪ دیزل بود. موتور مورد آزمایش نیز تک سیلندر، تزریق مستقیم و هوا خنک بود. نتایج آزمایش نشان داد مصرف سوخت ویژه و بازده حرارتی ترمزی با اضافه نمودن نانو ذرات در مقایسه با سوخت دیزل خالص افزایش داشت. اما میزان آلاینده‌های NOx و HC و CO به طور قابل توجهی در مقایسه با سوخت دیزل خالص کاهش یافت. همچنین نتایج نشان داد که فشار سیلندر و میزان حرارت آزادشده در ترکیب‌های سوخت حاوی نانو زیاد می‌شود [6].

## ۲- مواد و روشها

در این پژوهش تأثیر تلفیق سوخت دیزل، بیودیزل و ذرات نانو اکسید سریم بر روی میزان توان، گشتاور، مصرف سوخت ویژه و میزان آلاینده‌های موتور نسبت به سوخت پایه (دیزل خالص) بررسی شد. بدین منظور داده‌های مذکور مربوط به موتور تک سیلندر چهارزمانه CT159 با استفاده از ترکیبات مخلوط سوخت موردنظر اندازه‌گیری شد. مشخصات موتور فوق در جدول (۱) آمده است.

جدول: مشخصات فنی موتور CT159

مدل	Hatz 1B20-6
شرکت گونت آلمان	کارخانه سازنده
۱	تعداد سیلندر
۶۲ mm	کورس سیلندر
۶۹mm	قطر سیلندر
approx. 1.5 kW	توان خروجی
21: 1	نسبت تراکم
هو خنک	نوع سیستم خنک کاری
تزریق مستقیم	نوع سیستم سوخت رسانی

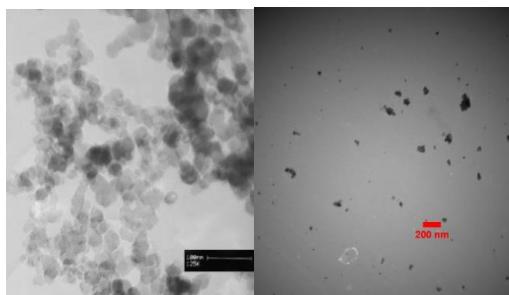
این پژوهش از بخش‌های ذیل تشکیل شده است:

### ۱- مرحله‌ی پیش از داده‌گیری:

این مرحله، شامل بررسی پیشینه تحقیق، ترکیب سوخت دیزل، بیودیزل و ذرات نانو اکسید سریم با توجه به درصدهای در نظر گرفته شده و طرح ریزی مطلوب برای اندازه‌گیری داده‌ها در آزمایش‌ها می‌باشد. از مخلوط‌های مختلف سوخت در ۱۰ سطح که شامل سوخت دیزل خالص، بیودیزل در ۳ سطح (B0, B5, B20) و ذرات نانو نیز در ۳ سطح (۱۵.۵٪، ۲۵ppm) در ۴ سرعت دورانی موتور (۱۵۰۰، ۲۰۰۰، ۲۴۰۰ و ۲۶۰۰ rpm) استفاده گردید. گازوییل مورداستفاده در این آزمون، گازوییل

و درجه حرارت آلاینده‌های انتشاریافته از موتور دیزل می‌شود و اکسیداسیون را نیز به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد [2]. کارتیکان و همکاران در سال ۲۰۱۴ اثر نانوذره جامد اکسید آلومینیوم (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) به عنوان ماده افروزنی به همراه ترکیب سوخت بیودیزل (GSOME) متبیل استرایفیکاسیون را بر روی عملکرد موتور اشتعال تراکمی بررسی کردند. بیودیزل از روغن هسته انگور به روش ترانس استرایفیکاسیون تهیه شده بود. ترکیب‌های سوخت (D80B20) شامل ۸۰٪ سوخت دیزل و ۲۰٪ بیودیزل، ترکیب سوخت D80B20Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> شامل (۸۰٪ سوخت دیزل + ۲۰٪ بیودیزل + ۵.۰ ppm آزمایش تک سیلندر، چهارزمانه، هوا خنک به روش تزریق مستقیم بود. آزمایش تک سیلندر، چهارزمانه، هوا خنک به روش تزریق مستقیم بود. آزمایش تحت بارهای مختلف در سرعت ثابت ۱۵۰۰ rpm نتایج آزمایش تفاوت معنی داری در میزان چگالی، ویسکوزیتی سینماتیک، نقطه ریزش و عدد ستان درنتیجه اضافه کردن اکسید آلومینیوم در ترکیب نداشت. اکسید آلومینیوم در ترکیب سبب بهبود نقطه اشتعال در مقایسه با ترکیب D80B20 شد. ارزش حرارتی ترکیب سوخت با اکسید آلومینیوم نسبت به ترکیب سوخت D80B20 بالاتر بود. مقدار حرارت آزادشده، فشار گاز و مصرف سوخت ویژه ترمزی برای ترکیب‌های سوخت حاوی نانو ذرات جامد با افزایش میزان نانو کمتر شد. نتایج نشان دادند که دمای گاز خروجی ترکیبات حاوی نانوذره نسبت به سوخت پایه پایین‌تر است. با افزایش میزان نانو آلاینده‌های CO و HC به طور قابل توجهی کاهش پیدا کرد. آلاینده NO<sub>x</sub> و تیرگی دود در ترکیب‌های سوخت به همراه نانو ذره حداقل مقدار را داشت [3]. کارتیکان و همکاران در سال ۲۰۱۶ تأثیر نانوذره جامد اکسید سریم (CeO<sub>2</sub>) بر روی پارامترهای عملکردی موتور و کاهش آلاینده‌های آن را در یک موتور اشتعال تراکمی بررسی کردند. در این پژوهش از موتور تک سیلندر، چهارزمانه، هوا خنک از نوع تزریق مستقیم استفاده شد. ترکیبات سوخت شامل B20 و B20, CeO<sub>2</sub> ۱۰۰ بود. نتایج این پژوهش نشان داد افزایش میزان نانوذره CeO<sub>2</sub> در ترکیب‌های سوخت ارزش حرارتی و نقطه اشتعال افزایش یافت. دمای گاز خروجی برای ترکیبات سوخت حاوی نانوذره کمتر از سوخت B20 بود و بهبود قابل توجهی در بازده حرارتی ترمزی ترکیبات حاوی نانوذره در مقایسه با سوخت B20 حاصل شد. مصرف سوخت ویژه ترمزی برای ترکیبات حاوی نانوذره در شرایط بار کامل در مقایسه با سوخت B20 کمتر بود و در مقایسه با سوخت B20, آلاینده‌هایی نظیر HC, CO, CeO<sub>2</sub>, تیرگی دود و آلاینده NO<sub>x</sub> در ترکیبات حاوی نانوذره CeO<sub>2</sub> کاهش یافت [4]. رامش و همکاران در سال ۲۰۱۶ تأثیر نانوذره آلومینا را به عنوان یک ماده افروزنی به همراه سوخت بیودیزل بر روی پارامترهای عملکردی، احتراق و آلاینده‌های موتور دیزل بررسی نمودند. بیودیزل مورداستفاده در این پژوهش از ضایعات و پسماند مرغ به روش ترانس استرایفیکاسیون تهیه شده بود. ترکیب سوخت شامل ۳۰ آلومینا و سوخت پایه دیزل خالص و موتور مورداستفاده تک سیلندر چهارزمانه بود. نتایج این پژوهش نشان داد ترکیب‌های سوخت B20 حاوی نانوذره آلومینا و بدون نانوذره نسبت به سوخت دیزل خالص در شرایط بار کامل افزایش بازده حرارتی ترمزی را به همراه داشت. فشار سیلندر برای همه ترکیب‌های سوخت مشابه بود و تغییرات معنی داری نداشت. در شرایط بار کامل تغییرات میزان گرمای آزادشده تقریباً برای تمام ترکیب‌های سوخت یکسان بود. مقدار اکسیژن موجود در ترکیب

B5D95	۲۵
B20D80	۵
B20D80	۱۵
B20D80	۲۵



شکل ۱: تصویر TEM نانوذره‌ی اکسید سریم

لازم به ذکر است پس از تهیه‌ی ترکیب سوخت، به منظور همگن شدن ترکیب سوخت و نانو ذرات جامد، مخلوط سوخت به مدت ۲۰ دقیقه درون حمام آلتراسونیک قرار داده شد.

#### ۲- داده گیری:

به منظور بررسی تأثیر ترکیب‌های مختلف سوخت دیزل، نانوذره‌ی اکسیدسریم و بیودیزل بر عملکرد و آلینده‌های موتور دیزل کوچک از مجموعه آزمایشی CT159 ساخت کشور آلمان استفاده شد. مجموعه‌ی آزمایشی از سه بخش اصلی شامل CT159 برای نصب موتور دیزل تک سیلندر چهارزمانه (CT151) و واحد کنترل، دینامومتر به منظور کنترل سرعت موتور (HM365) و یک سیستم کامپیوتر جهت ثبت و ذخیره‌ی داده‌های اندازه‌گیری شده تشکیل شده است. شماتیکی از تجهیزات استفاده شده در این پژوهش در شکل (۲) و مجموعه CT159 در شکل (۳) نشان داده شده است. متغیرهای مستقل در این پژوهش شامل مخلوط‌های مختلف سوخت بیودیزل (%۰-۵-۲۰) و ذرات نانو -۲۵ (PPm) و پارامتر سرعت موتور (۱۵۰۰، ۲۰۰۰، ۲۴۰۰ و ۲۶۰۰ rpm) بود. پس از تنظیم مقادیر موردنظر پارامترهای مستقل (ورویدهای) از قبیل سرعت موتور و مخلوط‌های مختلف دیزل، بیودیزل و ذرات نانو روی موتور موردنظر آزمایش گردید و تأثیر این متغیرهای مستقل بر روی متغیرهای واپسی، یعنی میزان گشتاور موتور، توان موتور، مصرف سوخت و پیزه ترمیزی و آلینده‌های موتور بررسی شد. برای اعمال بار به موتور از دینامومتر مدل HM365 ساخت شرکت گونت آلمان استفاده شد. سوخت‌های تهیه شده در مخزن مربوط به دستگاه ریخته شد و برای هر آزمایش موتور به مدت ۵ دقیقه در دور آرام کار کرد. همچنین قبل از انجام هر آزمایش سیستم سوخت‌رسانی و فیلترها تمیز و هوایگیری شد. برای اعمال بار به موتور توسعه دینامومتر، موتور زیر بار قرار گرفت. سپس با استفاده از پیچ تنظیم دور موتور تغییر داده شد. تنظیم دور موتور با دقت  $\pm 5\text{ rpm}$  انجام شد. مجموعه از طریق کابل رابط به سیستم کامپیوتر متصل شد و توسط نرم‌افزار مربوطه کلیه اطلاعات پس از پایدار شدن دور موتور ثبت شد. برای اندازه‌گیری آلینده‌های خروجی موتور نیز از دستگاه آلینده سنج پنج گاز ساخت شرکت Motor Scan ایتالیا استفاده شد (شکل ۴). کلیه آزمایش‌ها در تمام حالات با سه تکرار انجام گرفت.

معمول (شماره ۲) و بیودیزل مورداستفاده از روغن پسماند به روش ترانس استریفیکاسیون تهیه شد که برخی از خواص مهم آن از قبیل گرانروی سینماتیک، نقطه‌ی اشتعال، نقطه‌ی ابری شدن، نقطه‌ی ریزش، مقدار آب و رسوبات، مقدار گلیسیرین آزاد، و خوردگی مس اندازه‌گیری شده و نتایج آن مطابق با استاندارد ASTM D-6751 مطابقت داده شده است. در جدول (۲) برخی از خصوصیات مهم بیودیزل به همراه شماره استاندارد و حدود مجاز نشان داده شده است. نانو ذره انتخابی در این پژوهش نانوذره‌ی اکسید سریم به صورت ذرات کروی با خلوص ۹۹/۷٪ ذکر شده است. مشخصات فنی نانوذره‌ی اکسید سریم در جدول (۳) ذکر شده است. شکل انیز تصویر TEM نانوذره‌ی اکسید سریم مورداستفاده در این پژوهش را نشان می‌دهد که دارای قطر میانگین  $10\text{-}30$  نانومتر می‌باشد. ترکیبات سوخت دیزل با بیودیزل به صورت حجمی و با نسبت‌های ارائه شده مطابق با جدول (۴) می‌باشد.

جدول ۲: برخی از خصوصیات مهم بیودیزل به همراه شماره استاندارد و حدود مجاز آن [۷]

خصوصیت	شماره استاندارد	حدود مجاز	واحد
نقطه اشتعال	D-93	کمترین ۱۳۰	$^{\circ}\text{C}$
آب و رسوبات	D-2709	بیشترین ۰/۰۵	VOLUM %E
گرانروی سینماتیک	D-445	۱/۹-۶	$\text{mm}^2/\text{s}$
۴۰°C			
خاکستر سولفاته	D-874	بیشترین ۰/۰۲	Wt.%
گوگرد	D-5453	بیشترین ۰/۰۵	Wt.%
خوردگی مس	D-130	بیشترین شماره ۳	-----
عدد ستان	D-613	کمترین ۴۷	-----
نقطه ابری شدن	D-97	تعیین نشده	$^{\circ}\text{C}$
عدد اسید	D-664	بیشترین ۰/۸	Mg
گلیسیرین آزاد	D-6584	۰/۰۲	KOH/g
فسفر	D-4951	۰/۰۰۱	Wt.%

جدول ۳: مشخصات فنی نانوذره‌ی اکسید آهن [۸]

مشخصات فنی	اکسید سریم ( $\text{CeO}_2$ )
اندازه قطر (نانومتر)	۱۰-۳۰
سطح ویژه ( $\text{m}^2/\text{gr}$ )	۳۰-۵۰
کروی	شکل هندسی پودر
زرد روشن	رنگ
۰/۸-۱	چگالی ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

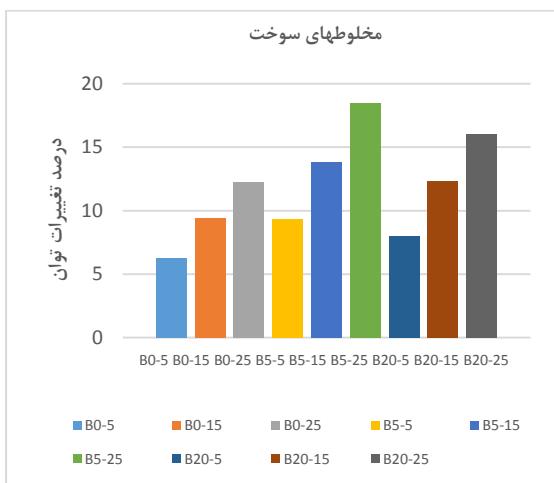
جدول ۴: ترکیبات سوخت دیزل و بیودیزل

درصد ذرات نانو (ppm)	ترکیب سوخت
۵	B0D100
۱۵	B0D100
۲۵	B0D100
۵	B5D95
۱۵	B5D95

تأثیر ترکیب‌های مختلف سوخت دیزل، بیوکربن و نانو ذرات جامد بر میزان گشتاور، توان، مصرف سوخت ویژه و آلاینده‌های موتور تک سیلندر چهارزمانه CT159، بررسی شد. بدین منظور هر نمونه‌ی سوخت مورد آزمایش قرار گرفت و نتایج حاصل نسبت به سوخت دیزل پایه مقایسه شد.

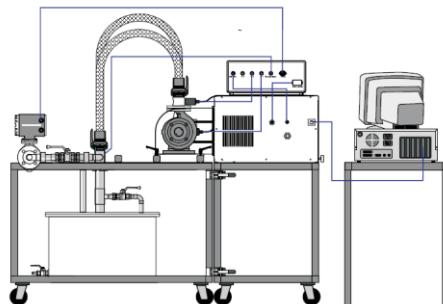
### ۱-۳ مقایسه توان و گشتاور ترکیب‌های سوخت نسبت به سوخت دیزل پایه

شکل ۵ و ۶ درصد میزان تغییرات توان و گشتاور در هریک از ترکیبات را نسبت به سوخت دیزل نشان می‌دهد. در تمامی ترکیبات مقدار توان حاصل نسبت به سوخت دیزل خالص افزایش داشت. در تمامی ترکیبات با کاهش دور و افزایش بار موتور مقدار توان حاصل نسبت به سوخت دیزل خالص افزایش داشته است. در حالت کلی تا محدوده‌ی سرعت ۲۴۰۰ rpm توان مخلوطها به تدریج افزایش یافت و در محدوده‌ی سرعت ۲۶۰۰ rpm توان مخلوطها کاهش یا در برخی ترکیبات افزایش جزئی داشت. درمورد گشتاور نیز همین رفتار وجود دارد. با افزایش سرعت موتور در تمامی سوخت‌ها گشتاور به تدریج کاهش یافت. در این محدوده‌های سرعت، مخلوط ۲۵B5D95 دارای بیشترین سرعت تقریباً در سوخت B0D100 کمترین مقدار است. با افزایش بیشتر سرعت تقریباً در تمامی مخلوطها، گشتاور کاهش و ثابت می‌ماند. علت تغییرات گشتاور موتور به طور عمده در اثر خوب پرشدن سیلندر در مرحله‌ی تنفس است. در سرعت‌های خلی بالا زمان تنفس کمتر بوده و در نتیجه سیلندر به خوبی پر نمی‌شود. متعاقب آن، فشار تراکم و فشار احتراق کمتر شده و نیروهای اینرسی بخش‌های متحرک موتور افزایش یافته و در نهایت گشتاور واقعی موتور کاهش می‌یابد.



شکل ۵: درصد تغییرات توان موتور با استفاده از ترکیبات سوخت نانو بیوکربن - دیزل و ذرات نانو نسبت به سوخت دیزل خالص

آزمایش‌ها در حالت ایستگاهی بر روی موتور انتخاب شده و با اعمال تیمارهای مختلف بر روی موتور تک سیلندر چهارزمانه CT159 صورت گرفت.



شکل ۲: شماتیکی از تجهیزات استفاده شده در پژوهش



شکل ۳: مجموعه مورد نظر شامل موتور و دینامومتر



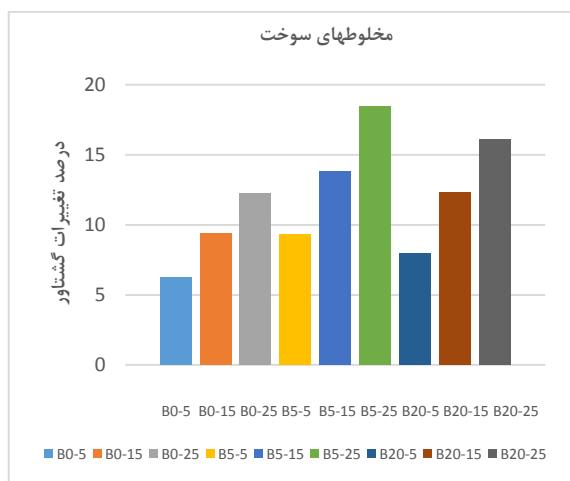
شکل ۴: دستگاه اندازه‌گیری آلاینده‌های موتور

برای ترسیم نمودارهای عملکرد، نرم افزار EXCEL به کار برده شد. در پایان مقادیر افزایش / کاهش توان، گشتاور، مصرف سوخت و مصرف سوخت ویژه نسبت به سوخت دیزل خالص به صورت درصد محاسبه - گردید و نمودارهای هیستوگرام با استفاده از نرم‌افزار Excel ترسیم و تحلیل بر روی این نمودارها صورت گرفت.

### ۳- نتایج و بحث

### ۱-۳-۳ هیدروکربن‌های نسوخته (HC)

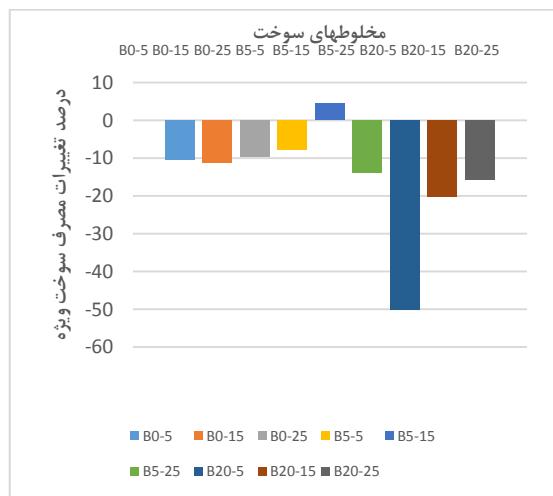
تولید آلاینده‌های هیدروکربن به دلیل احتراق ناقص است. به طور کلی این آلاینده‌ها به طراحی موتور، ساختار سوخت، دمای احتراق و اکسیژن موجود در سوخت بستگی دارد. هنگامیکه آلاینده‌های هیدروکربنی وارد اتمسفر می‌شوند، بدبو و آزاردهنده هستند، برخی از آنها سرطان‌زا می‌باشند. از جمله دلایل ایجاد آلاینده‌های HC می‌توان به نسبت هوا به سوخت غیر استوکیومتریک اشاره نمود. مقدار آلاینده HC به شدت تابع نسبت هوا به سوخت (AF) است. در یک مخلوط با سوخت غنی، اکسیژن کافی برای واکنش با تمام کربن وجود ندارد که منجر به مقداری CO در محصولات خروجی می‌گردد. این موضوع به ویژه در هنگام راهاندازی موتور که مخلوط هوا و سوخت، عمدتاً بسیار غنی می‌شود، صدق می‌کند. این موضوع به میزان کمتری در طی شتاب گرفتن سریع تحت بار نیز صادق است. اگر AF خیلی فقری باشد، احتراق ضعیفتری رخ می‌دهد که مجدداً منجر به ایجاد آلاینده‌های HC می‌گردد. در این پژوهش در اکثر ترکیب‌ها میزان هیدروکربن خروجی از آگزو ز نسبت به سوخت دیزل کاهش یافت. این موضوع می‌تواند به دلیل اکسیژن دار بودن سوخت بیودیزل و همچین ذرات نانو اکسید سریم (CeO<sub>2</sub>) باشد. البته در مواردی علیرغم وجود اکسیژن کافی میزان HC نسبت به سوخت دیزل بیشتر شده است. علت آن می‌تواند به این دلیل باشد که در برخی موضع در محفظه‌ی احتراق، مخلوط به قدری فقیر است که به طور مناسب نمی‌سوزد و در سایر نواحی به قدری غنی است که اکسیژن کافی برای مصرف تمام سوخت وجود ندارد. با اختلاط کمتر از مقدار معمول یا بیش از مقدار معمول سوخت و هوا، احتراق کامل رخ نمی‌دهد. مخلوط هوا و سوخت در موتور CI، بسیار غیر همگن می‌باشد و بعلاوه سوخت در طی احتراق، هنوز در حال پاشیدن است. بنابر این در موضع محفظه‌ی احتراق، نواحی بسیار غنی تا بسیار فقیر وجود دارند و جبهه‌های شعله بسیاری در یک زمان وجود خواهد داشت. در اختلاط کمتر از مقدار معمول، برخی ذرات سوخت در نواحی با سوخت غنی، هرگز اکسیژنی برای واکنش پیدا نمی‌کنند. در نواحی با سوخت فقیر، احتراق محدود می‌شود و مقداری از سوخت به‌علت رقیق بودن زیاد مخلوط نمی‌سوزد. در اختلاط بیش از مقدار معمول، برخی ذرات سوخت با گازی که قبل از سوخته است، مخلوط می‌شود و بنابراین به صورت کامل نخواهد سوخت. عامل دیگر ممکن است مربوط به نازل سوخت پاش باشد، نازل‌ها باید به نحوی ساخته شوند که هنگام توقف پاشش سوخت، از نازل چکه نکند. هرچند مقدار کمی از سوخت مایع نیز در نوک نازل محبوس خواهد شد (حجم حفره‌ای) و اندازه‌ی آن به طراحی نازل بستگی دارد. با پسته شدن نازل، دیگر فشاری برای راندن آن به داخل سیلندر وجود ندارد، این حجم سوخت به آرامی تبخیر می‌شود. مقداری از این سوخت تبخیر نمی‌شود مگر آنکه احتراق متوقف گردد، این موضوع باعث ورود ذرات HC بیشتری در گازهای خروجی می‌شود. شکل ۸ میزان تغییرات هیدروکربن‌های نسوخته موتور را در هریک از ترکیبات سوخت به سوخت دیزل خالص نشان می‌دهد. با توجه به نتایج به دست آمده مشخص است تقریباً در تمامی ترکیبات میزان HC تولیدی نسبت به سوخت دیزل خالص کمتر است. در بین این ترکیبات مخلوط سوخت 25-25 B5D95-25 بیشترین کاهش و مخلوط سوخت 5-5 B20D80-5 کمترین کاهش را نسبت به سوخت دیزل



شکل ۶: درصد تغییرات گشتاور موتور با استفاده از ترکیبات سوخت نانو بیودیزل و دیزل نسبت به سوخت دیزل خالص

### ۲-۳ مقایسه مصرف سوخت ویژه ترکیب‌های سوخت نسبت به سوخت دیزل پایه

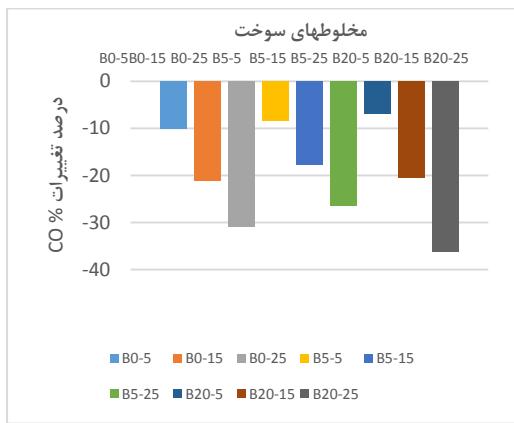
شکل ۷ میزان تغییرات مصرف سوخت ویژه موتور را در هریک از ترکیبات نسبت به سوخت دیزل خالص نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که ترکیب 5-5 B20D80-5 بیشترین کاهش مصرف سوخت ویژه موتور را نسبت به سایر ترکیبات دارا می‌باشد. ترکیب 15-15 B5D95-25 نیز کمترین کاهش مصرف سوخت ویژه را دارا می‌باشد. در مجموع نتیجه گرفته می‌شود که ترکیب 25-25 B5D95-25 نسبتاً دارای بیشترین مقدار افزایش توان و گشتاور بود در حالی که افزایش مصرف سوخت ویژه آن در حدود ۱/۴ درصد نسبت به سوخت دیزل خالص می‌باشد. در درصدهای بالاتر بیودیزل و ذرات نانو، ترکیب 5-5 B20D80-5 به دلیل دارا بودن مصرف سوخت ویژه پایین و توان و گشتاور نسبتاً خوب، مناسب می‌باشد.



شکل ۷: درصد تغییرات مصرف سوخت ویژه موتور با استفاده از ترکیبات سوخت نانو بیودیزل و دیزل نسبت به سوخت دیزل خالص

### ۳-۳ ارزیابی آلاینده‌های موتور

سوخت B20D80-5 بیشترین کاهش و مخلوط سوخت B20D80-25 کمترین کاهش را نسبت به سوخت دیزل خالص داشته است.

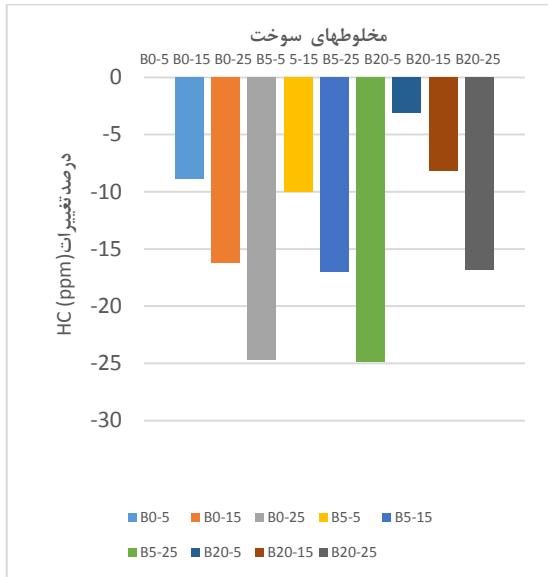


شکل ۹: درصد تغییرات منواکسیدکربن موتور با استفاده از ترکیبات سوخت نانو بیودیزل و دیزل نسبت به سوخت دیزل خالص

### ۳-۳-۳ اکسیدهای نیتروژن (NOx)

بخشی از گازهای خروجی موتور، اکسیدهای نیتروژن می‌باشد. بیشتر این مقدار، شامل اکسیدنیتروژن (NO) به همراه مقدار کمی دی‌اکسیدنیتروژن (NO<sub>2</sub>) و مقادیر جزئی دیگری از سایر ترکیبات نیتروژن و اکسیژن می‌باشند. تمامی ترکیبات اکسیدهای نیتروژن، باهم به صورت NOx گروه-NOx بندی می‌شوند که در آن x نشان دهندهی عدد مناسبی است. NOx آلایندهی بسیار نامطلوبی می‌باشد. برای شکل‌گیری NO، امکان چند واکنش وجود دارد که احتمالاً تمام آنها در طی فرآیند احتراق و بالافاصله بعد از آن رخ می‌دهند. به دلیل آنی نبودن واکنش‌های شیمیایی، تشکیل NOx علاوه بر دما به فشار، نسبت هوا به سوخت و زمان احتراق در داخل سیلندر بستگی دارد. مقدار NOx تولید شده، به موضع داخل محفظه‌ی احتراق نیز بستگی دارد. در موتورهای اشتعال تراکمی با محفظه‌های احتراق تقسیم‌شده و پاشش غیرمستقیم سوخت، عموماً دارای نسبت‌های تراکم بزرگتر و دمایا و فشارهای بیشتری هستند، تمایل به تولید مقادیر بیشتر NOx در این موتورها وجود دارد. با توجه به شکل (۱۰) مقدار اکسیدهای نیتروژن تولیدی توسط مخلوطهای سوخت نسبت به سوخت دیزل افزایش یافته است. نتایج نشان داد مخلوط سوخت B20D80-25 نسبت به سایر ترکیبات افزایش بیشتری (۲۲٪) در تولید اکسیدهای نیتروژن در مقایسه با سوخت دیزل خالص دارد. کمترین افزایش نیز مربوط به مخلوط سوخت B0D100-5 می‌باشد. دلیل افزایش NOx اکسیژن موجود در مخلوطهای سوخت می‌باشد که هم سبب واکنش با نیتروژن و هم باعث افزایش دمای احتراق می‌شود که زمینه را برای تولید NOx فراهم می‌کند.

خالص داشته است. همان‌گونه که ذکر شد علت این موضوع اکسیژن دار بودن ترکیب سوخت می‌باشد که سبب می‌شود اکسیژن بیشتری در محفظه‌ی احتراق وجود داشته باشد تا احتراق کامل‌تری صورت پذیرد.



شکل ۸: درصد تغییرات هیدروکربن‌های نسوخته موتور با استفاده از ترکیبات سوخت نانو بیودیزل و دیزل نسبت به سوخت دیزل خالص

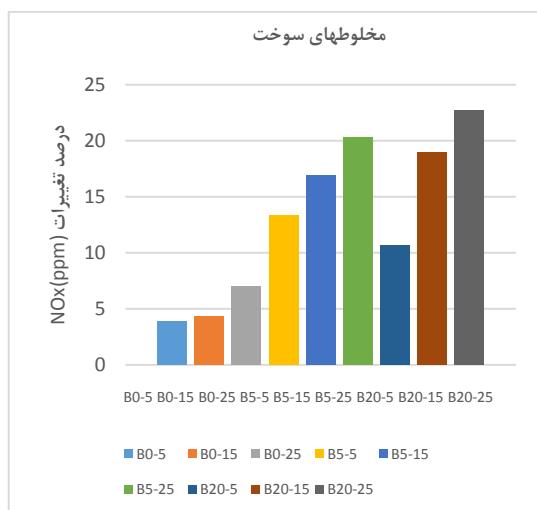
### ۴-۳-۲ منواکسیدکربن (CO)

منواکسیدکربن گازی بی‌رنگ، بی‌بو و سمی است. این گاز هنگامی در موتور تولید می‌شود که موتور با نسبت همارزی سوخت غنی کار کند، هنگامی که اکسیژن کافی برای تبدیل تمام کربن به CO<sub>2</sub> وجود نداشته باشد، مقداری از سوخت نمی‌سوزد و مقداری کربن به صورت CO باقی ماند. CO نه تنها به عنوان آلاینده‌ای نامطلوب در نظر گرفته می‌شود، بلکه باعث اتلاف انرژی شیمیایی، که نمی‌تواند به صورت کامل در موتور به کار گرفته شود، نیز می‌گردد. بیشترین مقدار CO هنگامی تولید می‌شود که موتور با مخلوط غنی کار کند و مواردی شامل راهنمایی موتور، یا شتاب گرفتن تحت بار را شامل می‌گردد. اختلال ضعیف، نواحی محلی غنی و احتراق ناقص، مقداری CO ایجاد خواهد کرد. میزان CO براساس درصد حجمی (V%) و به وسیله‌ی دستگاه سنجش آلاینده‌ها اندازه‌گیری گردید. همان‌گونه که در شکل (۹) مشاهده می‌گردد، مقدار منواکسید کربن تولیدی توسط مخلوطهای سوخت دیزل-بیودیزل و ذرات نانو نسبت به سوخت دیزل خالص کاهش یافته است. همچنین مشاهده می‌شود که با افزایش درصد بیودیزل و همچنین میزان ذرات نانو در مخلوط سوخت میزان کاهش CO نیز افزایش می‌یابد. دلیل کاهش CO، اکسیژن سوخت میزان کاهش CO نیز افزایش می‌یابد. اکسیژن دار بودن مخلوط سوخت موجب می‌شود اکسیژن بیشتری در محفظه‌ی احتراق حضور داشته و در نتیجه احتراق کامل‌تری صورت بگیرد. با توجه به نتایج به دست آمده مشخص است تقریباً در تمامی ترکیبات میزان CO تولیدی نسبت به سوخت دیزل خالص کمتر است. در بین این ترکیبات مخلوط

اکسیژن در محفظه احتراق، احتراق بهطور کامل تر صورت گرفت و توان تولیدی و گشتاور افزایش یافت. با افزایش بیشتر سرعت تقریباً در تمامی مخلوطها، گشتاور کاهش وثابت می‌ماند. علت تغییرات گشتاور موتور به طور عمده در اثر خوب پرشدن سیلندر در مرحله‌ی تنفس است. در سرعت‌های خیلی بالا زمان تنفس کمتر بوده و در نتیجه سیلندر به خوبی پر نمی‌شود. متعاقب آن، فشار تراکم و فشار احتراق کمتر شده و نیروهای اینرسی بخش‌های متحرک موتور افزایش یافته و در نهایت گشتاور واقعی موتور کاهش می‌یابد. با افزایش میزان بیودیزل و نانوذره در مخلوطهای سوخت، مصرف سوخت ویژه کاهش یافت. علت این موضوع را می‌توان به حضور کاتالیست نانوذره آهن در کنار سوخت بیودیزل ربط داد که می‌تواند احتراق کامل و خوبی را به همراه داشته باشد. با افزایش میزان نانو و سوخت بیودیزل در ترکیب به علت افزایش اکسیژن در محفظه احتراق، احتراق بهطور کامل تر صورت می‌گیرد و میزان منوکسیدکربن و هیدروکربن‌های نسوخته کاهش یافت. مقدار اکسیدهای نیتروژن تولیدی توسط مخلوطهای سوخت نسبت به سوخت دیزل افزایش یافت. دلیل افزایش NO<sub>x</sub> اکسیژن موجود در مخلوطهای سوخت می‌باشد که هم سبب واکنش با نیتروژن و هم باعث افزایش دمای احتراق می‌شود که زمینه را برای تولید NO<sub>x</sub> فراهم می‌کند. اکسیژن‌دار بودن مخلوطها نسبت به سوخت دیزل خالص سبب می‌شود احتراق کامل‌تری صورت گرفته و در نتیجه مقدار بیشتری از منوکسید کربن که حاصل از احتراق ناقص موتور است، به دی‌اکسیدکربن تبدیل شود. بنابراین با افزایش میزان بیودیزل و ذرات نانو به دلیل اکسیژن بیشتر میزان CO<sub>2</sub> خروجی از اگروز افزایش یافت. با توجه به نتایج حاصل از تحقیق و یافته‌های محققان دیگر، کاربرد بیودیزل به عنوان سوخت زیستی و نانوذره اکسید سریم به صورت ترکیبی با گازوئیل تا حد زیادی می‌تواند سبب بهبود عملکرد موتور و کاهش آلاینده‌های موتور شود.

#### مراجع

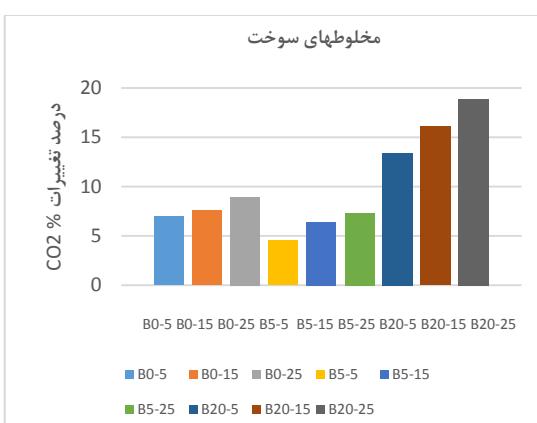
- [1] غفوری، م. (۱۳۸۹) بررسی تأثیرات ذرات نانو بر عملکرد سوخت زیستی بر مبنای روغن کلزای غیرخوارکی در موتور. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه آزاد تاکستان.
- [2] S.Escribano, F.Lopez, G. Amores, H. Martinez, P.Panizza, R. Buscac, study of a ceria-zirconia-supported manganese oxide catalyst for combustion of diesel soot particles, A characteristic of Diesel engine. Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com), (2008).
- [3] S.Karthikeyan, A. Elango, S.M.Silaimani, A. Prathima, Role of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nano additive in GSOBiodiesel on the working characteristics of a CI engine, Indian Journal of Chemical Technology Vol. 21, , pp. 285-289, (2014).
- [4] S. Karthikeyan, A. Prathima, A. Elango, K. Sabariswaran, Environment Effect of CeO<sub>2</sub> nano additive on performance and emission reduction in a COME operated CI marine engine, Indian



شکل ۱۰: درصد تغییرات اکسیدهای نیتروژن موتور باستفاده از ترکیبات سوخت نانو بیودیزل و دیزل نسبت به سوخت دیزل خالص

#### ۴-۳-۴- دی‌اکسیدکربن (CO<sub>2</sub>)

همان‌گونه که از شکل (۱۱) قابل مشاهده است، میزان CO<sub>2</sub> با استفاده از مخلوطهای سوخت دیزل- بیودیزل و ذرات نانو نسبت به سوخت دیزل خالص افزایش یافته است. با توجه به نتایج به دست آمده مخلوط B20D80-25 بیشترین افزایش و مخلوط B5D95-5 کمترین افزایش تولید CO<sub>2</sub> را نسبت به سوخت دیزل خالص داشت. اکسیژن‌دار بودن مخلوطها نسبت به سوخت دیزل خالص سبب می‌شود احتراق کامل‌تری صورت گرفته و در نتیجه مقدار بیشتری از منوکسید کربن که حاصل از احتراق ناقص موتور است، به دی‌اکسیدکربن تبدیل شود. همان‌گونه که مشاهده می‌شود با افزایش میزان بیودیزل و ذرات نانو به دلیل اکسیژن بیشتر میزان CO<sub>2</sub> خروجی از اگروز افزایش یافته است.



شکل ۱۱: درصد تغییرات دی‌اکسیدکربن موتور باستفاده از ترکیبات سوخت نانو بیودیزل و دیزل نسبت به سوخت دیزل خالص

#### ۴-نتیجه گیری

در این پژوهش تأثیر تلفیق سوخت دیزل، بیودیزل و ذرات نانو اکسید سریم بر روی میزان گشتاور موتور، توان موتور، مصرف سوخت ویژه ترمزی و آلاینده‌های خروجی اگروز موتور بررسی شد. نتایج حاصل نشان داد با افزایش درصد بیودیزل و میزان نانو در ترکیب به علت افزایش

Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com), PP. 1114–1120 (2018).

[7] زنوزی، ع. (۱۳۸۶). ارزیابی عملکرد تراکتور MF-399 با استفاده از ترکیبات سوخت دیزل و بیودیزل". پایان نامه کارشناسی ارشد مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس. تهران، ایران.

[8] Technical Data Sheet Shell Omalla S2 G220, Accessed on 12 February 2013; [www.epc.shell.com](http://www.epc.shell.com).

Journal of Geo-Marine Sciences Vol. 45(1), pp. 167-172 (2016).

- [5] D.K. Ramesh, J.L. Dhananjaya Kumar, S.G. Hemanth Kumar, V. Namith, B.J. Parashuram, S. Sharath, Study on effects of Alumina nanoparticles as additive with Poultry litter biodiesel on Performance, Combustion and Emission, ELSEVIER, Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com), PP. 1114–1120 (2018).
- [6] R. Sathyamoorthi, M. Puviyarasan, B. Bhuvanesh kumar, D. Breslin Joshua, EFFECT OF CeO<sub>2</sub> NANO ADDITIVE ON Emission, ELSEVIER,